

Elektromagnetische Verträglichkeit : EMV

Autor(en): **Szentkuti, Bálint**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri**

Band (Jahr): **59 (1981)**

Heft 8

PDF erstellt am: **06.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-874196>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Zusammenfassung. *EMV ist eine Art Umweltschutz für die Welt der Elektrotechnik. Die physikalischen Zusammenhänge zwischen den EMV-Teilbereichen «Störquelle», «Kopplung» und «Stör-opfer» sowie mögliche Gegenmassnahmen bei Störbeeinflussung werden skizziert. Die Planung der EMV ist möglich und notwendig.*

Compatibilité électromagnétique – EMC

Résumé. *Par EMC, on entend un genre de protection de l'environnement qui touche au domaine de l'électrotechnique. Les relations physiques entre les secteurs partiels de l'EMC, c'est-à-dire les «sources de perturbations», les «couplages» et les «éléments perturbés» ainsi que les contre-mesures possibles en cas d'influences perturbatrices sont décrites. La planification de l'EMC est réalisable et nécessaire.*

Compatibilità elettromagnetica – CE

Riassunto. *La compatibilità elettromagnetica è una specie di ecologia per il mondo dell'elettrotecnica. L'autore descrive alcuni rapporti fisici tra i singoli elementi della CE che sono la «fonte di disturbo», l'«accoppiamento» e l'«oggetto perturbato» e indica alcune contromisure in caso di influssi perturbatori. La pianificazione della compatibilità elettromagnetica è possibile e necessaria.*

1 Die elektromagnetische Verträglichkeit – ein «Umweltschutzproblem»

Die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) eines Systems bedeutet, dass dieses in der vorgegebenen elektromagnetischen Umwelt einerseits störungsfrei arbeiten kann und andererseits andere Systeme nicht stört.

Zur elektromagnetischen Umwelt können alle natürlichen Phänomene sowie technischen Einrichtungen gezählt werden, die mit Elektrizität oder Magnetismus etwas zu tun haben. Einige Beispiele sind in *Figur 1* angedeutet. Einerseits handelt es sich dabei um «Störquellen», die elektromagnetische Energie entweder direkt abstrahlen oder aber über Leitungen an die Umgebung abgeben; andererseits betrifft dies «Stör-opfer», die einen Teil dieser Energie aufnehmen und dadurch gestört oder gar zerstört werden.

Die Auswirkungen von Fernseh- oder Radiostörungen durch elektrische Motoren, Automotoren, Fluoreszenz-lampen usw. sind wohl jedermann bekannt und bleiben vielfach ohne untragbare Folgen. Schwerwiegender wird es jedoch, wenn Computer, die wichtige Daten verarbeiten oder industrielle Prozesse steuern, durch benachbarte Starkstromeinrichtungen gestört werden oder wenn beispielsweise starke Hochfrequenzfelder von Funkgeräten sogar Herzschrittmacher beeinflussen. Es ist bemerkenswert, dass viele Systeme sowohl bei den Störquellen als auch bei den Opfern eingereicht werden können: Ein Computer kann gestört werden, gleichzeitig aber Funkstörungen verursachen. Ebenso kann ein Radio- oder Fernsehgerät, das auf vielerlei Arten gestört werden kann, selber störende Signale abstrahlen (Lokaloszillator).

Das Problem der Störbeeinflussung und damit der elektromagnetischen Verträglichkeit ist so alt wie die Fernmeldetechnik. Doch hat es in unserer Zeit stark an Bedeutung zugenommen, denn die moderne Halbleitertechnologie ermöglicht den Einzug der Elektronik in alle Bereiche der Technik und des täglichen Lebens. Dadurch müssen sich immer mehr elektrische und elektronische Systeme auf immer engerem Raum «vertragen». Zur EMV gehören zudem auch die Probleme der Gleich- und Nebenkanaalstörungen in der Funktechnik und die Fragen der Frequenzplanung. In der Funktechnik, wo je-

der Sender sein Frequenzband im Spektrum belegt, spricht man heute oft vom elektromagnetischen Spektrum wie von einer «Ressource», die weder sinnlos verschwendet noch verschmutzt werden sollte. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der ganze Problembereich EMV sich sehr anschaulich wie ein «Umweltschutzproblem» in der Elektrotechnik beschreiben lässt.

Bisher wurde von der elektromagnetischen Verträglichkeit *zwischen* verschiedenen Systemen gesprochen. Dies bezeichnet man als *Intersystem-EMV*. Aber auch jene *innerhalb* eines Systems, die *Intrasystem-EMV*, spielt eine wichtige Rolle. Die Probleme der Intrasystem-EMV lassen sich teilweise wie die einer Intersystem-EMV en miniature betrachten. Im weiteren wird jedoch vorwiegend die Intersystem-EMV behandelt.

2 Physik der Störbeeinflussung

In der Systematik der elektromagnetischen Verträglichkeit ist es üblich, die Beeinflussungsfragen in die Teilgebiete «Störquelle», «Ausbreitung und Kopplung» sowie «Störwirkung und -opfer» einzuteilen (*Fig. 2*):

- Bei den *Störquellen* gilt es, den Entstehungsort und die Ursache der Störung (zum Beispiel schnelle Stromänderungen, Bürstenfeuer beim Kommutierungsvorgang eines Kollektormotors) abzuklären.
- Die *Ausbreitung und Kopplung* betrifft die Übertragung der Störenergie vom Entstehungsort zum störbaren System (etwa durch das Netzkabel oder durch Abstrahlung).
- Mit der *Störwirkung und dem Opfer* werden die Wirkungsweise der Störenergie und ihre Folgen auf das gestörte System (zum Beispiel Entstehung des störenden Tones in einem Radioempfänger) untersucht.

Bei der Störbeeinflussung spricht man vom Störvermögen einer Quelle sowie von der Störemfindlichkeit oder Störfestigkeit eines möglichen Opfers.

21 Störquellen

Das mögliche Frequenzspektrum der Störquellen reicht vom Gleichstrom (Magnetfelder, die Frequenznormale beeinflussen können) über die 50-Hz-Netzfrequenz (Brumm!), über die Radiofrequenzen (Radio, Fernsehen

¹ In Englisch: Electromagnetic Compatibility (EMC). Verwandte Gebiete: Radiofrequency Interference/Electromagnetic Interference (RFI/EMI)

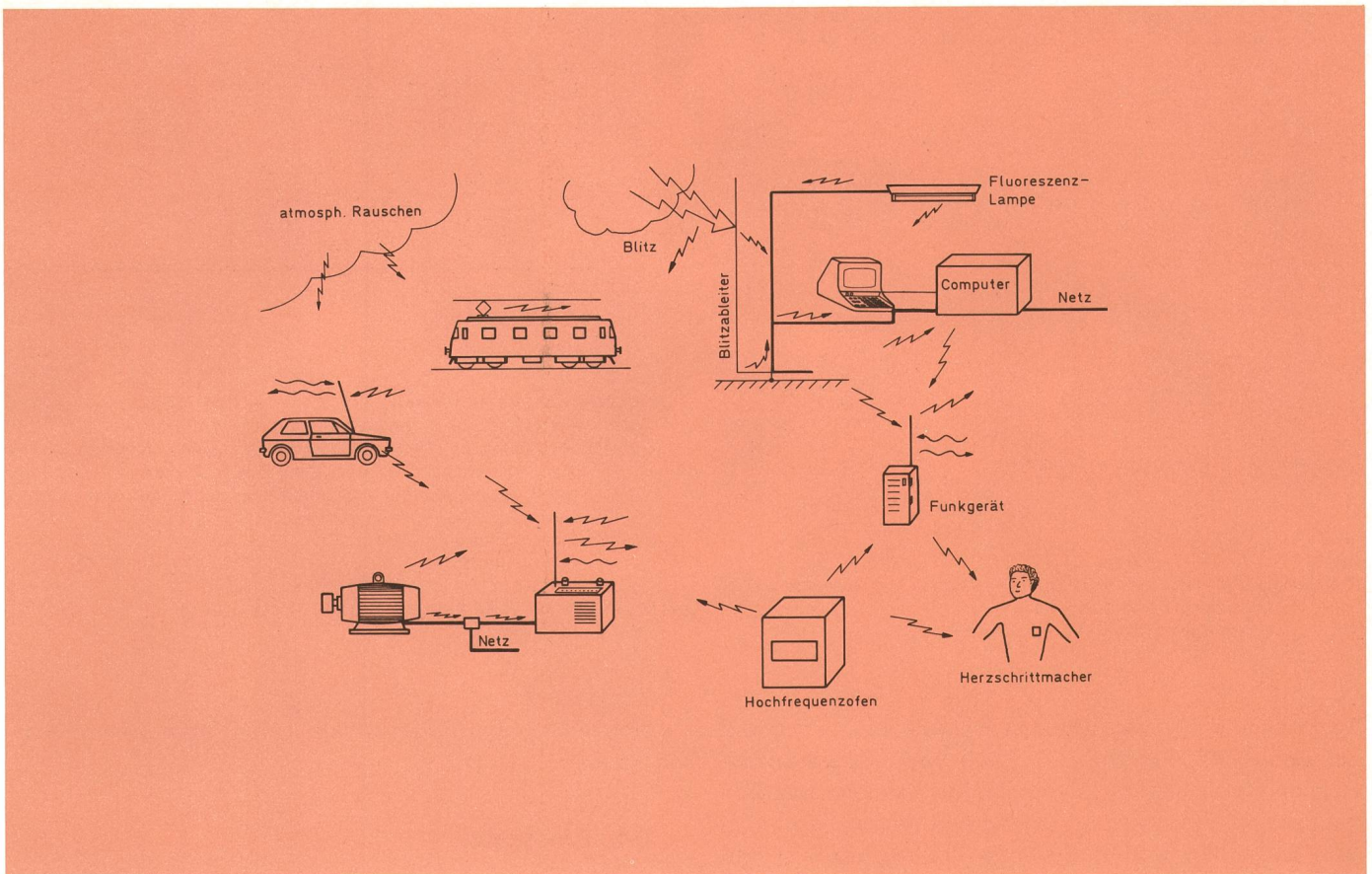


Fig. 1
Einige Beispiele aus der elektromagnetischen Umwelt
 Störsignal

im kHz- und MHz-Bereich, Richtfunk und Radar im GHz-Bereich) bis zu den Röntgen-, Gamma- und kosmischen Strahlen (10^{20} Hz, Störung oder Zerstörung von Halbleitern). Man unterscheidet zwischen den natürlichen Störquellen (wie Blitzen, atmosphärischem und kosmischem Rauschen) und den technischen Störquellen (man made noise). Es gibt eine grosse Vielfalt von technischen Störquellen, die sich nach vielen Gesichtspunkten ordnen lassen. Zum Beispiel

- beabsichtigte und unbeabsichtigte Hochfrequenz-erzeugung
- Schmal- und Breitband-Störquellen
- stationäre und transiente Störquellen

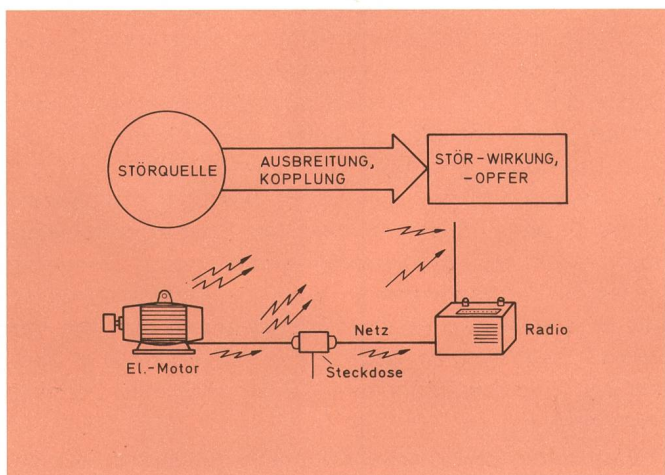


Fig. 2
Systematik der Störbeeinflussung
 Störsignal

 Nutzsinal

211 Beabsichtigte und unbeabsichtigte Hochfrequenz-(HF-)Erzeugung

Bei der *beabsichtigten* HF-Erzeugung wird bewusst HF-Energie produziert, entweder für die Informationsübertragung und Signalverarbeitung (Sender, Lokoszillatoren usw.) oder für Versuchszwecke und Behandlungszwecke mit industriellen, wissenschaftlichen oder medizinischen Geräten, wie HF-Öfen, Diathermieapparaten usw. Meistens handelt es sich um HF-Signale nach *Figur 3a*, deren Grundfrequenz oder Oberwellen andere Systeme stören können.

Bei der *nichtbeabsichtigten* HF-Erzeugung tritt die HF-Energie als Nebenprodukt beim Betrieb eines Systems auf und rührt vielfach von schnellen Strom-, Spannungs- oder Ladungsänderungen her. Als klassisches Beispiel kann der Ein- und Ausschaltvorgang grosser Leistungen sowie stark induktiver und kapazitiver Lasten erwähnt werden. Der zeitliche Verlauf und das Spektrum eines solchen Vorganges ist schematisch in *Figur 3b* wiedergegeben. Die HF-Energie reicht dabei etwa bis zum Frequenzbereich $f=1/(T\pi)$, wobei T der Anstiegszeit des Impulses entspricht. Die Kommutierung in Elektromotoren und das Zünden bei Automotoren können wie eine ständige Folge ähnlicher Vorgänge betrachtet werden (*Fig. 3c*). Auch die steilen Strom- und Spannungsflanken bei Thyristorsteuerungen oder digitalen Signalen erzeugen in vergleichbarer Weise HF-Störsignale.

212 Schmalband- und Breitbandstörquellen

Schmalbandstörquellen sind jene, denen im entsprechenden Frequenzbereich eine oder mehrere einzelne

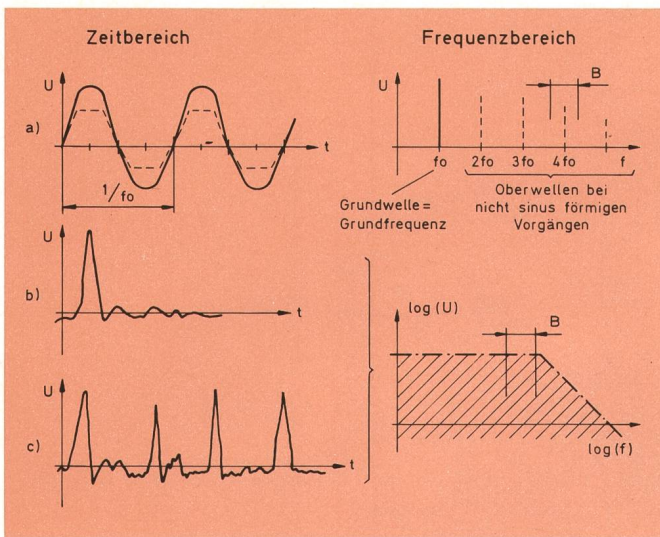


Fig. 3
Störsignale und ihre Spektren (Zeitmassstäbe a, b, c unterschiedlich)
 - - - - Enveloppe des Spektrums
 B Bandbreite eines Messempfängers

Spektrallinien — also diskrete Frequenzen — zugeordnet werden können (Fig. 3a). Dabei liegen diese so weit auseinander, dass mit einem definierten Messempfänger nur eine Frequenz auf einmal empfangen wird. In einem Radio hört sich eine solche Störung wie ein Pfeifton an. Breitbandstörungen erzeugen dagegen ein mehr oder weniger kontinuierliches Spektrum (Fig. 3b und 3c), wobei die mit einem Messempfänger empfangene Störenergie von der Empfangsbandbreite B abhängig ist. In einem Radio hört sich eine solche Störung wie ein Knacken (Fig. 3b) oder Rauschen und Surren an (Fig. 3c).

213 Stationäre und transiente Störquellen
 (sinngemäss auch Dauerstörungen und diskontinuierliche Störungen genannt)

Stationäre Störquellen sind jene, die ihre Störsignale dauernd erzeugen (beabsichtigte HF-Erzeugung oder Motoren, Thyristorsteuerungen usw., Fig. 3a und 3c). Transiente Störquellen sind solche, die nur von Zeit zu Zeit impulsartige Störsignale erzeugen (wie einzelne Schaltvorgänge, Fig. 3b). In der Praxis ist in transienten Störsignalen meistens mehr Energie vorhanden als in

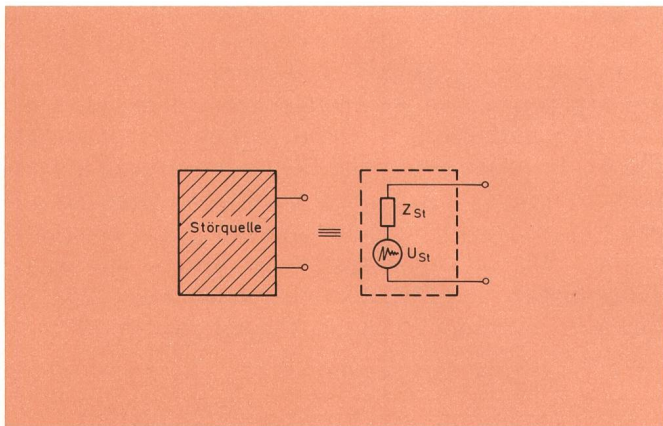


Fig. 4
Ersatzstörquelle
 U_{St} Störquellenspannung Z_{St} Störquellenimpedanz

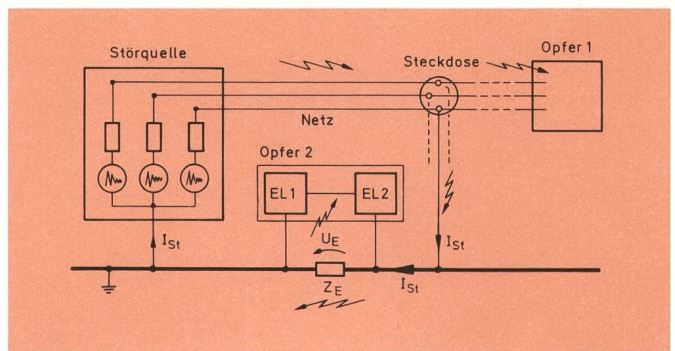


Fig. 5
Leitergebundene galvanische Kopplung der Störung
 Opfer 1 wird direkt durch die Netzleitungen beeinflusst
 Opfer 2 wird durch den Potentialunterschied U_E im nichtidealen Erdsystem beeinflusst (Erdimpedanz $Z_E \neq 0$; Elektronik 1 und Elektronik 2 sind mit einer Signalleitung verbunden und sind an verschiedenen Punkten geerdet)
 EL 1, 2 Elektronische Schaltung
 I_{St} Störquellenstrom
 Z_E Impedanz der Erdleitung
 U_E In der Erdleitung auftretende Störspannung
 ⚡ Störsignal

den einzelnen Teilimpulsen eines stationären Störsignals.

214 Ersatzbild

Für die weiteren Betrachtungen sind die Entstehungsmechanismen der Störsignale weniger wichtig als die resultierende Störenergie in einem Gerät, das als «Black-box» mit unbekanntem Inhalt, jedoch mit bekanntem Ersatzbild dargestellt wird (Fig. 4).

In der Ersatzimpedanz sind auch die ohmschen, kapazitiven und induktiven Ankopplungsimpedanzen der Quelle inbegriffen, mit denen sie auf eigene Gerätemasse, Erde-, Speise-, Signalleitungen, Verdrahtungen usw. wirken kann.

22 Ausbreitung und Kopplung

Die Störsignale breiten sich aus der Black-box aus und werden in andere Systeme über Leitungen, elektromagnetische Felder und Wellen eingekoppelt.

221 Leitergebundene galvanische Kopplung

In diesem Falle gelangen die Störsignale auf Leitungen und können in andere Systeme eingekoppelt werden, die ebenfalls an diesen Leitungen angeschlossen sind, wie dies bei 220-V-Netz- oder gemeinsamen Erdleitungen vorkommt (Fig. 5). Trivial ist der erste Fall, bei dem Störquelle und Opfer aus dem gleichen Netz gespeist werden (Opfer 1 in Fig. 5). Weniger offenkundig ist die Störbeeinflussung, wenn der Störstrom teilweise durch eine mit dem Opfer gemeinsame Erdleitung fließt. Da die Impedanz der Erdleitung nie ideal Null ist, tritt in der Erdleitung eine Störspannung auf, die das Opfer 2 beeinflussen kann. Grössere Erdströme (Erdschluss, Blitz usw.) können sogar empfindliche Systeme zerstören.

Das durch galvanische Kopplung wirksame Störvermögen eines Systems lässt sich durch Messung der Störspannungen und -ströme an den angeschlossenen Leitungen erfassen.

222 Kapazitive und induktive Kopplung durch Nahfelder

Die Störspannungen und Störströme auf den Leitungen der Störquelle sind entlang diesen Leitungen von elektrischen und magnetischen Feldern begleitet. Mit zunehmender Distanz D klingt allerdings die Feldstärke schnell ab (ungefähr im Verhältnis $1/D^2$). Diese Felder können auf andere Leitungen, die in der Nähe und vor allem parallel verlaufen, Störspannungen und -ströme induzieren, die dann zum Opfer gelangen (Fig. 6). Aber auch die direkte Beeinflussung eines sich in diesem Nahfeld befindenden Gerätes ist möglich. Das Störvermögen einer Quelle mit Nahfeldern lässt sich, wie bei der galvanischen Kopplung, durch Spannungs- und Strommessung bei der Quelle erfassen.

223 Kopplung durch Fernfelder (Abstrahlung, Einstrahlung)

Bei der Abstrahlung von elektromagnetischer Energie durch die Störquelle breitet sich eine elektromagnetische Welle durch den Raum aus. Die elektromagnetische Feldstärke nimmt proportional zur Distanz D von der Quelle ab (etwa im Verhältnis $1/D$). Ein einfaches und typisches Beispiel zu diesem Fall ist die Abstrahlung von Lokaloszillatorenergie bei Radio- und TV-Empfängern. Die Lokaloszillatorspannung des Empfängers kann unerwünschterweise auf den Antenneneingang des Empfängers und von dort aus auf die Empfangsantenne gelangen, die dann die Energie abstrahlt.

Es braucht jedoch nicht unbedingt «echte» Antennen, um Energie abzustrahlen. Alle stromführenden Teile der Störquelle können als «Antenne» wirken. Zur wirkungsvollen Abstrahlung braucht es allerdings «Antennen», deren Länge in der Größenordnung der Wellenlänge liegt. Die abgestrahlte Leistung ist abhängig von der Antennenengeometrie und vom Antennenstrom (etwa proportional zu I^2). Im Beispiel Fig. 7 koppelt die Störquelle einen Störstrom einerseits auf die metallischen Teile des Gerätes (I_{StG}) und andererseits auf das angeschlossene Kabel (I_{StK}). Sowohl das Gerät als auch das Kabel können als Antenne wirken. Bei Störquellen kleiner Abmessungen ($<0,5$ m) dominiert meistens die Antennenwirkung der Kabel bis zu einigen hundert Megahertz (bei 100 MHz ist die zur Frequenz umgekehrt proportionale Wellenlänge $\lambda = 3$ m).

Auf Grund dieser Betrachtungen leuchtet es ein, dass das Störvermögen durch Abstrahlung erst bei höheren

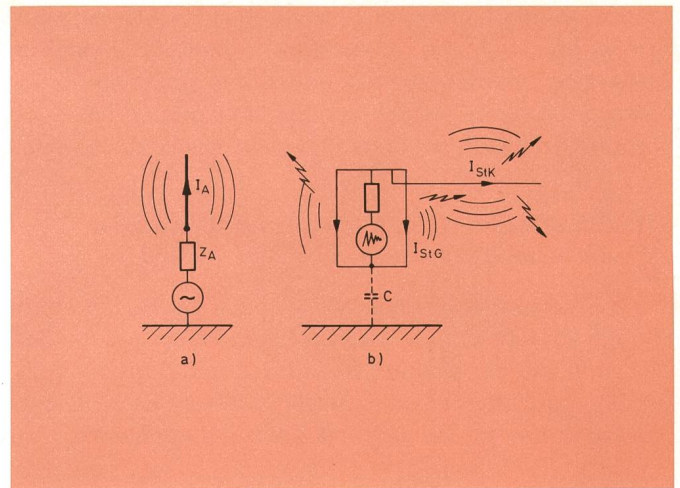


Fig. 7

Abstrahlung

- a «Echte» Antenne, der Antennenstrom (I_A) bewirkt die Strahlung
- b Geräte- und Kabel-Störströme als Antennenströme
- Z_A Antennenimpedanz
- I_A Antennenstrom
- I_{StG} Auf die metallischen Teile des Gerätes induzierter Strom
- I_{StK} Auf das angeschlossene Kabel induzierter Strom
- ⚡ Störsignal

Frequenzen eine wesentliche Rolle spielt, bei denen die Ausdehnung der Anlage und der Verkabelung in der Größenordnung der Wellenlänge liegt. Das Störvermögen (abgestrahlte Leistung) wird durch Messung der Störfeldstärke in einer definierten Distanz oder des «Antennenstromes» auf den Anschlusskabeln erfasst.

Bisher wurde nur von der Abstrahlung gesprochen. Bei der Einstrahlung von Störenergie auf ein Opfer, das heisst bei der Wirkung von elektromagnetischen Feldern auf ein störbares System, sind obige Aussagen über Antennenwirkung nach wie vor gültig; es ist jeweils der Begriff «Sendeantenne» durch «Empfangsantenne» zu ersetzen. Man macht demnach auch die Feststellung, dass im allgemeinen für kleine Geräte ($<0,5$ m) bei Frequenzen bis zu einigen hundert Megahertz nicht die direkte Wirkung des Störfeldes auf das Gerät, sondern der «Antennenstrom», der mit dem Anschlusskabel empfangen wird, in der Störbeeinflussung dominiert.

Die physikalische Äquivalenz und Vertauschbarkeit von Send- und Empfangsantenne ist eines der wichtigsten Gesetze des Elektromagnetismus und wird als Reziprozitätsgesetz bezeichnet. Diese Reziprozität gilt übrigens auch bei der Kopplung durch Leitungen und Nahfelder.

23 Störwirkung, Opfer

Über angeschlossene Leitungen, Nahfelder oder Fernfelder gelangen Störsignale in ein System und werden hier galvanisch, induktiv oder kapazitiv in dessen empfindliche Teile eingekoppelt. Die möglichen Wirkungen des Störsignals beim Opfer sind ebenso mannigfaltig wie die Erzeugungsmechanismen bei der Störquelle, weshalb nur wenige Aspekte herausgegriffen seien.

Bemerkenswert ist, dass analoge Systeme schon durch verhältnismässig schwache stationäre Störsignale gestört werden können, wie dies zum Beispiel bei Radio- störung durch einen Elektromotor der Fall ist. Hingegen haben nicht zu häufige transiente Störungen, wie die Stromstösse beim Ein- und Ausschalten des gleichen

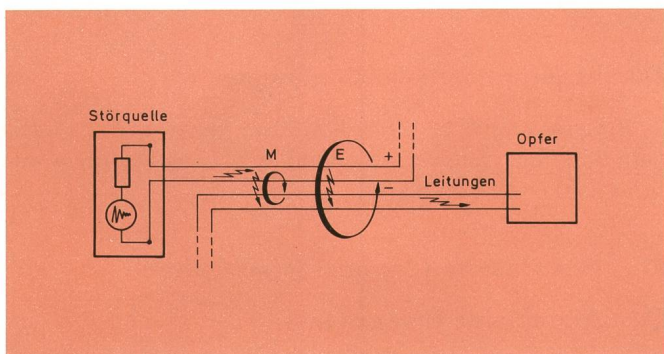


Fig. 6

Kopplung durch elektrische und magnetische Nahfelder

M Magnetisches Feld

E Elektrisches Feld

⚡ Störsignal

Motors, wenig Einfluss auf solche Systeme. Gegenätzlich verhält sich die Störfestigkeit digitaler Systeme. Diese sind unempfindlicher gegenüber üblichen stationären Störungen, jedoch empfindlich gegenüber auch nur vereinzelt, aber starken transienten Störsignalen.

231 Überlagerung von Nutz- und Störsignal in Analogsystemen

Ein Funkempfänger, ein Mess- oder ein Regelsystem können zwischen Nutz- und Störsignal nicht unterscheiden, was von der leichten Beeinträchtigung bis zur völligen Unbrauchbarkeit des Systems führen kann. Dieser Fall kommt in der Funktechnik am häufigsten vor.

232 Verschiebung des Arbeitspunktes bei Halbleitern

Ein starkes Störsignal, das das Nutzsignal gar nicht direkt beeinflussen würde (wenn beispielsweise das Störsignal nicht im Arbeitsfrequenzband des Systems liegt), kann durch Sättigungs- oder Pump-Wirkung den Arbeitspunkt von Transistoren verschieben und Störungen verursachen.

233 Falsche Signal- oder Taktimpulse in digitalen Systemen

Es sind besonders die impulsartigen, transienten Störsignale, die logische Signalfolgen oder Taktsignale in digitalen Systemen verfälschen können.

234 Zerstörung durch energiereiche Störsignale

Zu den energiereichen Störsignalen sind im allgemeinen Blitz oder Schalttransiente zu zählen. Die Einkopplung geschieht meistens galvanisch oder durch Nahfeldinduktion, wobei die Isolationsfestigkeit oder die Leistungsgrenze der betroffenen Elemente überschritten wird. Die Zerstörung ist an und für sich bereits durch verhältnismässig schwache Störsignale möglich, wenn diese wichtige oder empfindliche Steuerelemente treffen.

3 Gegenmassnahmen

Zum Glück sind nicht nur die Zahl und die Art der Störquellen und -wirkungen vielfältig, sondern auch jene der Massnahmen gegen ihre Auswirkungen. Heute steht hierzu eine ausgereifte Technik zur Verfügung.

31 Massnahmen an der Störquelle

311 Konstruktion

Oft ist es möglich, durch richtige Konstruktion und einwandfreie Herstellung, die Grösse der Störspannung bereits in der Black-box selber zu unterdrücken. Beim Radio geschieht dies durch Entkopplung des Lokaloszillators von der Eingangsstufe und beim Kollektormotor durch eine gute Qualität des Kollektors und der Bürsten sowie durch deren richtige Einstellung.

312 Filterung

Die Störsignale am Black-box-Ausgang können mit Kondensatoren, mit Drosselspulen oder einer Kombina-

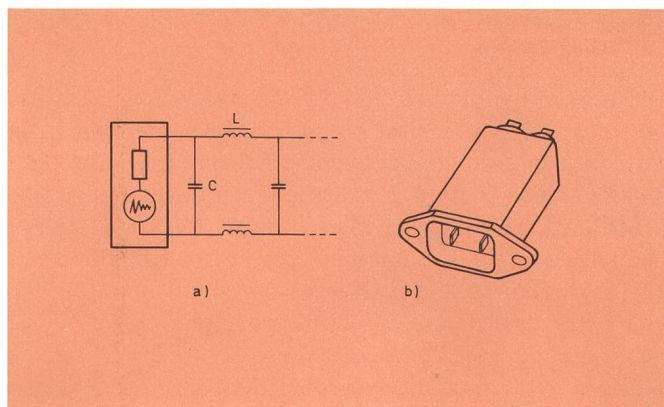


Fig. 8
Filterung des Störsignals
a) Prinzipschema

b) Netzfilter für einfachen Einbau

tion in Form von Filtern vermindert werden (Fig. 8). Solche Entstörelemente stehen heute in grosser Auswahl zur Verfügung und eignen sich meist auch gut zum nachträglichen Einbau in Geräte. Sie unterdrücken die Störsignale an der Black-box oder verhindern, dass diese an die angeschlossenen Kabel gekoppelt werden.

313 Begrenzung

Transiente Störsignale können durch sogenannte nichtlineare Elemente wie Dioden, Varistoren (spannungsabhängige Widerstände) oder Überspannungsableiter mit Gasentladung begrenzt werden.

32 Massnahmen bei der Ausbreitung und Kopplung

321 Erdung, Verkabelung

Klar und überdacht konzipierte Erdungssysteme sowie das Schaffen eines genügenden Abstandes zwischen Störquellen- und Opferkabeln reduzieren jene Kopplungen, die durch gemeinsame Erdverbindungen und nahe Parallelführung von Leitungen entstehen. Kabelführung in dichter Nähe von grossen Erdungsflächen sowie die Verwendung verdrehter statt paralleler Aderpaare vermindern die Kopplung durch elektromagnetische Felder.

322 Abschirmung

Die metallische Abschirmung der Störquelle, des Störpuffers und der Leitungen kann gegen Ab- und Einstrahlung eingesetzt werden.

323 Faseroptische Verbindungen

Diese braucht man, um Systeme galvanisch zu trennen oder um Kabelkopplungen durch elektromagnetische Felder zu eliminieren.

33 Massnahmen am gestörten System

331 Allgemeine Massnahmen

Allgemeine Massnahmen, wie sie an der Quelle und bei der Ausbreitung und Kopplung getroffen werden, findet man ebenso häufig beim Störpuffer (Filterung, Begrenzung, richtige Verkabelung, Abschirmung usw.).

332 Systemtechnische Massnahmen

Viele Möglichkeiten bestehen, um die Störfestigkeit zu verbessern, zum Beispiel: Verwendung von erhöhten Signalpegeln (analog oder digital) oder von möglichst langsam ansprechenden Schaltungen in digitalen Systemen (soweit vom Pflichtenheft her zulässig), damit höhere Störfrequenzen unwirksam bleiben; in der Funktechnik ist die Frequenzmodulation im allgemeinen störfester als die Amplitudenmodulation; in digitalen Systemen lässt sich durch entsprechende Vorkehrungen bei der Hard- und Software besonders hohe Redundanz und damit hohe Störfestigkeit erzielen.

34 Einschränkungen

Die Gegenmassnahmen sollten weder die Sicherheitsanforderungen noch die Funktionstüchtigkeit der betroffenen Systeme beeinträchtigen. So sind manche einfache Entstörmassnahmen aus Gründen des Personenschutzes unzulässig. Ebenso ist die Abschirmung eines Empfängers einschliesslich Antenne unsinnig.

Letztes Beispiel führt uns drastisch vor Augen, dass Funksysteme eine besondere Stellung einnehmen, indem sie nur begrenzt durch Gegenmassnahmen am Störpfer allein geschützt werden können. Ein absoluter Schutz einzig auf der Seite des Störpfers ist jedoch bei allen anderen Systemen denkbar.

4 Planung der elektromagnetischen Verträglichkeit

Die elektromagnetische Verträglichkeit ist heute eine hoch entwickelte Disziplin; es wurde in den letzten Jahrzehnten viel Wissen und Können auf dem Gebiet der Störbeeinflussung erarbeitet. Dieser Beitrag zeigt, dass Massnahmen sowohl an Störquellen als auch an Opfern — einschliesslich Ausbreitung und Kopplung — möglich sind. Die Frage ist, wo will man die Massnahmen treffen?

In der Intrasystem-EMV — das heisst für die Verträglichkeit innerhalb eines Systems — ist es heute bereits bei der Entwicklung grosser Anlagen üblich, die EMV-Bedingungen zu berücksichtigen, um optimale Lösungen zu erreichen. Umfangreiche Einrichtungen, wie moderne Flugzeuge oder Raumfähren, wären heute ohne EMV-Planung unvorstellbar. Denken wir nur an die grosse Zahl elektronischer Geräte, die auf kleinstem Raum nebeneinander arbeiten müssen: Funk- und Navigationssysteme, automatische Landesysteme, Rege-

lungen, Steuerungen, Bordcomputer, Speisungen usw., deren Betrieb ohne entsprechende Vorkehrungen bezüglich elektromagnetischer Verträglichkeit nicht möglich wäre.

Wie steht es aber mit der Planung der Intersystem-EMV, das heisst der Verträglichkeit zwischen *verschiedenen Systemen*, wie sie in Figur 1 angedeutet wurden? Hier geht es darum, den optimalen Kompromiss zwischen den Extremlösungen zu finden. Die eine Extremlösung könnte man als Faustrecht bezeichnen: In diesem Fall bestehen keine Auflagen an das Störvermögen, und die EMV-Massnahmen werden ausschliesslich an Störpfern getroffen. Dass diese Lösung bei Funksystemen bereits an ihre Grenzen stösst, wurde schon erwähnt. Die andere Extremlösung könnte man als Diktat bezeichnen: Hier bestehen keine Auflagen an die Störfestigkeit, dafür müssen die EMV-Massnahmen ausschliesslich an Störquellen getroffen werden, wobei die Störsignale bis an die Messgrenze zu unterdrücken wären. Wäre dies theoretisch möglich, müsste man sich allerdings fragen, was dann mit den natürlichen Störquellen zu geschehen hätte.

Beide Extremlösungen sind technisch, aber auch volkswirtschaftlich sinnlos. Es braucht deshalb EMV-Richtlinien, die für das Störvermögen und die Störfestigkeit Grenzen festlegen. Eine solche Grenzziehung erlaubt die EMV-Planung sowohl auf der Seite der Störquellen als auch auf jener der Störpfer. Damit kann auch die elektromagnetische Verträglichkeit von verschiedenen Systemen gewährleistet werden, ohne dass dies wegen der Unsicherheit betreffend EMV-Massnahmen sinnlos übertrieben wird. Die Suche nach sinnvollen Grenzen wird vielleicht auch dadurch gefördert, dass dank der vermehrten Anwendung der Elektronik immer mehr Störquellen gleichzeitig ebenfalls Störpfer sein können.

Die neue Störschutzverordnung des Eidgenössischen Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartementes vom 1. Mai 1979 ist ein weiterer Beitrag zur Grenzziehung zwischen Störvermögen und Störfestigkeit.

Bibliographie

- Stoll D. EMC, Elektromagnetische Verträglichkeit. Berlin, Elitera Verlag, 1976.
White D. R. J. Handbook Series on Electromagnetic Interference and Compatibility, Vol. 1...6. Germantown, Maryland, USA, Don White Consultants.